

Taneli Sammaljoki

MAAPERÄMALLINTAMISEN NYKYTILA SUOMESSA

Rakennetun ympäristön tiedekunta
Kandidaatintyö
05/2019

TIIVISTELMÄ

Taneli Sammaljoki: Maaperämallintamisen nykytila Suomessa (The present state of 3D modelling of soil in Finland)

Kandidaatintyö

Tampereen yliopisto

Rakennustekniikka

05/2019

Kandidaatintyön tarkoituksena oli selvittää maaperämallintamisen nykytilaa Suomessa. Tutkimus tehtiin kirjallisuusselvityksenä ja lisäksi hyödynnettiin asiantuntijahaastatteluita. Tavoitteena oli selvittää maaperämallintamisen käyttökohteita, teoriaa ja malliin liittyviä vaatimuksia. Haastateltavien valinnalla tavoiteltiin mahdollisimman laaja-alaista edustusta alan ammattilaisten keskuudesta. Haastateltavina olivat geotekninen suunnittelija, maaperägeologi ja pohjavesitutkija, jotka ovat kaikki työskennelleet maaperän 3D-mallintamisen parissa.

Maaperämallien keskeisimmät mallinnettavat kohteet ovat maakerrostumien rajapinnat. Kerrostumille annetaan yleensä maalajiluokitus, koska jo maalajin perusteella on mahdollista saada yleiskuva kohteen maaperäolosuhteista. Kolmiulotteisen maaperämallin lähtötietoina käytetään pohjatutkimustuloksia, joiden keskeisimpänä vaatimuksena on tarkkuus. Tarkkuusvaatimus on määriteltävä kohdekohtaisesti. Yleiset inframallivaatimukset nostavat esille maaperämallin malliselostuksen merkittävyyden, sillä sen pohjalta mallia hyödyntävä taho ymmärtää mallin taustalla tehdyt oletukset ja saa käsityksen mallin luotettavuudesta.

Maaperän mallintaminen helpottaa maaperä- ja pohjavesiolosuhteiden ymmärtämistä, sillä hyvän 3D-mallin pohjalta on mahdollista tarkastella koko kokonaisuutta ja lisäksi 3D-mallin perusteella käyttäjä pystyy luomaan yleiskuvan alueen olosuhteista varsin nopeasti. Maaperämallien avulla pystytään ohjaamaan maankäytön suunnittelua ja se toimii hyvänä työkaluna myös rakennus- ja pohjavesihankkeiden suunnittelussa.

Tutkimuksessa perehdyttiin maaperämallintamiseen yleisesti liittyvään teoriaan ja lisäksi selvitettiin maaperämallintamisen nykytilaa Suomessa asiantuntijahaastatteluiden avulla. Kirjallisuuden ja asiantuntijoiden näkemysten pohjalta koottiin yhteen malliin liittyviä vaatimuksia ja luotettavuuteen vaikuttavia asioita. Merkittäväksi puutteeksi todettiin yhteisten ohjeiden puuttuminen. Haastattelujen perusteella todettiin, että mallintaminen on yleistymässä kaikilla esitetyillä osa-alueilla ja ohjelmistot vastaavat yhä paremmin käyttäjien tarpeita.

Avainsanat: maaperämalli, 3D-malli, 3D-maaperämalli

Tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin OriginalityCheck –ohjelmalla.

SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO.....	1
2. SUOMEN MAAPERÄ.....	2
3. MAAPERÄMALLIN LÄHTÖTIEDOT.....	3
3.1 Lähtötietojen vaatimukset.....	3
3.2 Maaperäkartat.....	4
3.3 Pohjatutkimukset	5
3.3.1 Kairaukset.....	6
3.3.2 Geofysikaaliset menetelmät.....	7
3.3.3 Laserkeilaus.....	7
4. 3D-MAAPERÄMALLI.....	8
4.1 Maaperämallin kuvaus.....	8
4.2 Mallinnettavat kohteet.....	9
4.3 Näkemyksiä kehityssuunnista.....	13
5. MALLIN VAATIMUKSET	14
5.1 Yleiset inframallivaatimukset	14
5.2 Mallin luotettavuus	15
6. ESIMERKKEJÄ MAAPERÄN 3D-MALLINTAMISEN KÄYTTÖKOhteista	16
6.1 Maanpintamalli, kallionpintamalli ja maaperämalli.....	16
6.2 Geologinen maaperämalli.....	17
6.2.1 Helsingin Östersundomin tutkimusalue	18
6.2.2 Östersundomin alueelta tehtyjä mallinnuksia	18
6.3 Pohjavesitutkimus.....	20
6.3.1 Pohjavesiolosuhteet.....	20
6.3.2 Pohjaveden virtausmalli.....	21
7. YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET	24
LÄHTEET.....	26
LIITE A: HAASTATTELUKYSYMYKSET.....	28

1. JOHDANTO

Maaperäolosuhteiden selvittäminen on tärkeässä roolissa rakennushankkeissa sekä pohjavesitutkimuksissa. Maaperäolosuhteiden selvittämiseksi on käytössä useita eri menetelmiä, kuten esimerkiksi kairaukset ja geofysikaaliset luotaukset. Pohjatutkimusten tarkoituksena on selvittää, millainen kohdealueen maaperä on. Keskeisenä tavoitteena on selvittää maaperäkerrosten rajat sekä niiden laatu, kallioperän sijainti ja pohjaveden pinnan taso. Tutkimustulosten pohjalta on mahdollista aloittaa suunnittelu.

Maaperätutkimusten tulosten avulla on mahdollista luoda kolmiulotteinen maaperämalli, joka rakennushankkeessa on osana lähtötietomallia. InfraBIM-sanaston mukaan lähtötietomalli on kokoelma, jossa on yhdistettynä erilaisia aineistoja. Maaperän kolmiulotteista mallintamista on hyödynnetty esimerkiksi pohjavesitutkimuksissa, sillä mallin pohjalta voidaan kuvata virtauksia sekä haitta-aineiden ja lämmön kulkeutumista. Maaperämallin luotettavuuteen vaikuttaa oleellisesti maaperätutkimusten kattavuus; mitä vähemmän on tutkimustuloksia, sitä enemmän malliin voi tulla virheitä.

Maaperän 3D-mallintaminen palvelee myös rakentamista, sillä esimerkiksi savikoilta on tehty 3D-malleja, joiden pohjalta pystytään ohjaamaan maankäyttöä järkevään suuntaan. Tällöin rakentamista ohjataan niille alueille, jotka saadaan helposti ja kustannustehokkaasti rakennettua. Savikoiden tunteminen tuo selviä kustannussäästöjä rakentamisvaiheessa ja sen myötä osataan myös paremmin varautua maaperäolosuhteisiin.

Tämän kandidaatintyön tavoitteena on alan julkaisuihin ja kirjallisuuteen pohjautuen selvittää maaperämallintamisen nykytilaa Suomessa, 3D-mallintamisen teoriaa ja käsitellä 3D-maaperämallin vaatimuksia. Lisäksi työn tavoitteena on esitellä esimerkkejä 3D-mallin käyttökohteista. Kirjallisuuden lisäksi työssä käytetään henkilöhaastattelujen avulla saatua tietoa maaperämallintamisesta.

2. SUOMEN MAAPERÄ

Suomen maaperä on suurimmaksi osaksi syntynyt Veiksel-jääkaudella ja sen päättymisen jälkeen. Maapeitteen paksuus vaihtelee erittäin paljon, sillä paikoin on havaittavissa kalliopaljastumia, mutta toisaalla saattaa olla 100 metrin paksuisia maapeitteitä peruskallion päällä. Suomen maaperän keskimääräinen paksuus on 8,5 m, ja sen yleisin maa-laji on moreeni. Moreenia esiintyy tasaisina maapeitteinä kallion päällä, mutta myös erilaisina jääkauden muovailevina moreenimuodostumina, kuten esimerkiksi drumliineina. (Haavisto-Hyvärinen & Kutvonen 2007, s. 8–10)

Viimeisimmällä jääkaudella jään paksuus oli jopa yli 2 km, minkä vuoksi maankuori painui alaspäin ja jäätikön sulamisen jälkeen se on noussut kohti alkuperäistä korkeusasmaansa. Tämä maankohoaminen vaikuttaa edelleen Suomen maaperässä, ja se on syytä ottaa huomioon erityisesti pitkän ajan takaisia maaperätietoja tarkasteltaessa, sillä pahimmillaan maankohoamista tapahtuu lähes metrin verran sadassa vuodessa. (Haavisto-Hyvärinen & Kutvonen 2007, s. 10)

Suomen maaperän monipuolisuuden vuoksi 3D-mallintaminen on hyvä työkalu, ja visualisoinnin myötä kohteen maaperäolosuhteet ovat helpommin hahmotettavissa jo nopealla katsauksella. Maaperämallissa voidaan esittää luonnollisten kerrostumien lisäksi ihmisen toimesta syntyneet täyttömaat (Ikävalko et al. 2017, s. 9). Maaperän mallintamista on Suomessa hyödynnetty jo usealla eri osa-alueella.

Maaperän rakennettavuutta määriteltäessä tarkastellaan maalajien kantavuutta, routivuutta, kokoonpuristuvuutta sekä kaivettavuutta, kantavan pohjan sijaintia, maanpinnan kaltevuutta, maa-ainesten käyttökelpoisuutta ja pohjavesiolosuhteita. Esimerkiksi moreenit ovat yleensä rakennuspohjana kantavia, mutta hienoaineksen määrästä riippuen moreenit voivat olla kuitenkin jopa kohtalaisesti routivia. Karkearakeiset maalajit ovat rakentamisen kannalta edullisin maapohja, sillä ne kantavat hyvin ja eivät roudi. (Johansson et al. 2005, s. 183) Maaperäolosuhteet ovat siis ratkaisevassa asemassa, kun valitaan esimerkiksi rakennuksen perustamistapaa. Tästä johtuen maaperäolosuhteet vaikuttavat merkittävästi rakentamisen kustannuksiin.

3. MAAPERÄMALLIN LÄHTÖTIEDOT

Kolmiulotteiseen maaperämalliin lähtötietoina käytetään tutkimustuloksia mallinnettavan kohteen maaperästä. Paikkatutkimukset sisältävät laajan valikoiman eri tutkimustyyppisiä, joilla kuvataan maaperää, kalliota ja pohjavesiolosuhteita (Fookes 1997, Kvartsberg 2013, s. 10 mukaan). Kvartsbergin (2013, s. 10) mukaan tutkimukset voidaan jakaa suoriin ja epäsuoriin tutkimuksiin, joista suoriin kuuluvat kairaukset ja maa- tai kallionäytteen ottaminen ja testaaminen. Epäsuoria menetelmiä ovat havainnointi ja maanpinnan tai kairauspisteiden geofysiikka.

3.1 Lähtötietojen vaatimukset

Mallintamisen eri osa-alueilla lähtötietojen on oltava tarkkoja. Orakankaan (2019a) mukaan tarkkuusvaatimus on määriteltävä aina kohdekohtaisesti. Liikenneviraston (2015) julkaisussa Geotekniset tutkimukset ja mittaukset annetaan ohjeita pohjatutkimuksiin liittyen. Lisäksi julkaisussa esitellään tutkimusten laadunhallintaa, sovellettavia standardeja ja vaatimuksia pohjatutkimusten tekijöille.

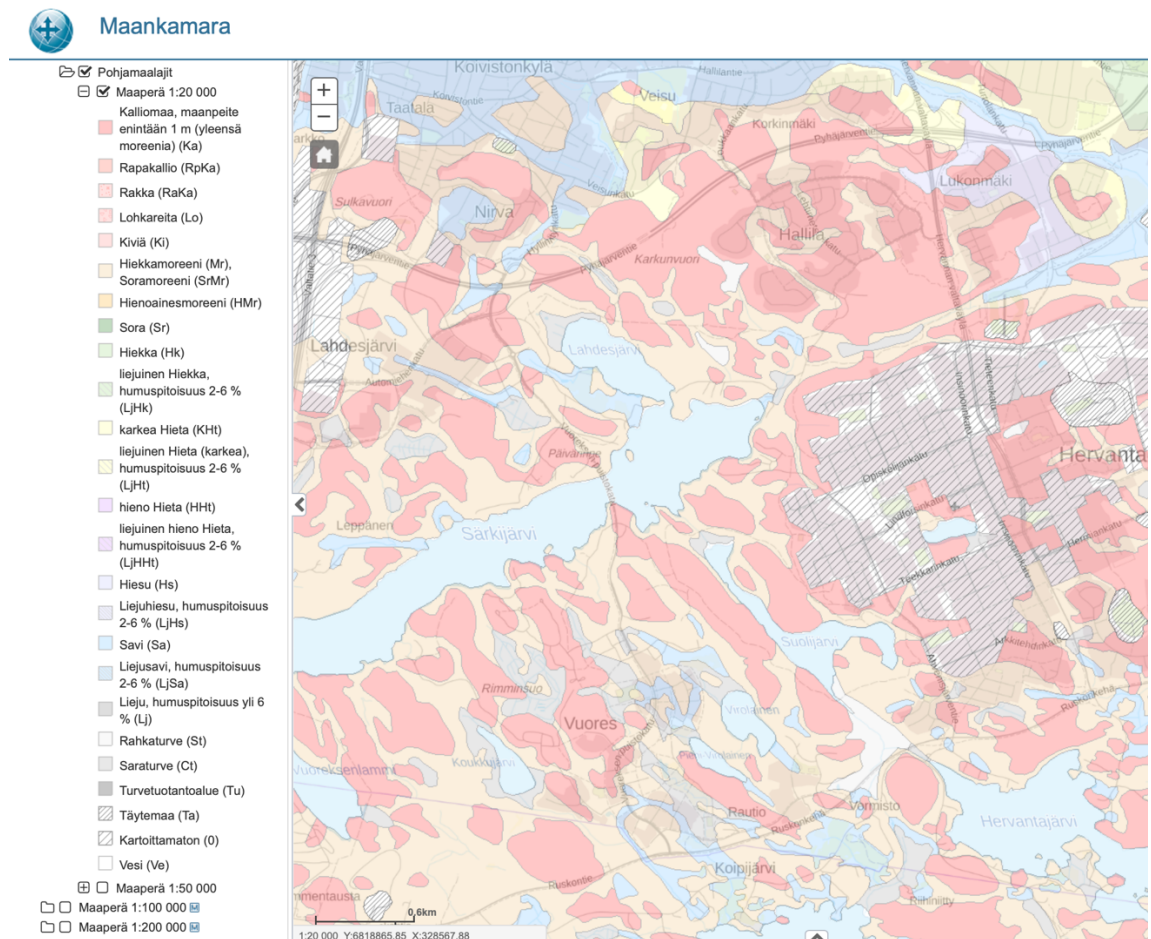
Suomen Ympäristökeskuksen pohjavesitutkija Sirkku Tuominen, painottaa kerätyn tutkimusdatan määrää, sillä projekteissa on tullut isoja yllätyksiä tiheistä kairauksista ja useista pohjaveden havaintoputkista huolimatta. Pohjaveden virtausmallia laadittaessa voidaan kuitenkin todeta puutteita lähtötiedoissa ja puutteisiin kohdentaa lisätutkimuksia, jolloin saadaan optimoitua pohjatutkimusten määrää. Lisäksi Tuominen korostaa vaatusten merkitystä kohdealueilla, jotta esimerkiksi havaintoputkista saataisiin lasketua absoluuttiset pinnankorkeudet. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että jokaisen havaintoputken pää pitäisi vaaita, jotta niiden absoluuttiset korkeudet olisivat tunnettuja. Ympäristöhallinnon pohjavesitietojärjestelmässä on tällä hetkellä lukuisia havaintoputkia ilman vaaittuja korkeustietoja. (Tuominen 2019)

Konseptuaalinen malli kertoo olemassa olevan käsityksen mallinnettavasta alueesta (Seppälä & Tuominen 2005, s. 49). Tämä konseptuaalinen malli on hyvä pitää mielessä, kun pohjatutkimusaineistoa karsitaan ja käydään läpi. Muuten riskinä on, että mallista tulee liian monimutkainen eikä se ole totuudenmukainen. Kairaustulosten tulkinta voi olla joissakin kohteissa ristiriitaista, esimerkiksi, kun kaksi vierekkäistä kairausta on tulkittu eri henkilöiden toimesta, tulkinnot voivat olla keskenään täysin erilaisia. (Ojala 2019)

3.2 Maaperäkartat

Maaperäkarttojen pohjalta on mahdollista ohjata alueellista maankäyttöä, milloin yleensä käytetään mittakaavaltaan 1:20 000 tai 1:50 000 maaperäkarttaa. Näillä mittakaavoilla kartat antavat yleiskuvan alueen maalajeista, kerrospaksuuksista sekä niiden ominaisuuksista. Kartoitussyvyytenä on yleensä yksi metri. Maaperäkartan antaman yleiskuvan pohjalta on mahdollista suunnitella, mitä kannattaa rakentaa ja mille alueelle. Maaperäkartan pohjalta voidaan tehdä myös rakennettavuusluokitus kohdealueelle. (Haavisto-Hyvärinen & Kutvonen 2007, s. 2 ja 7)

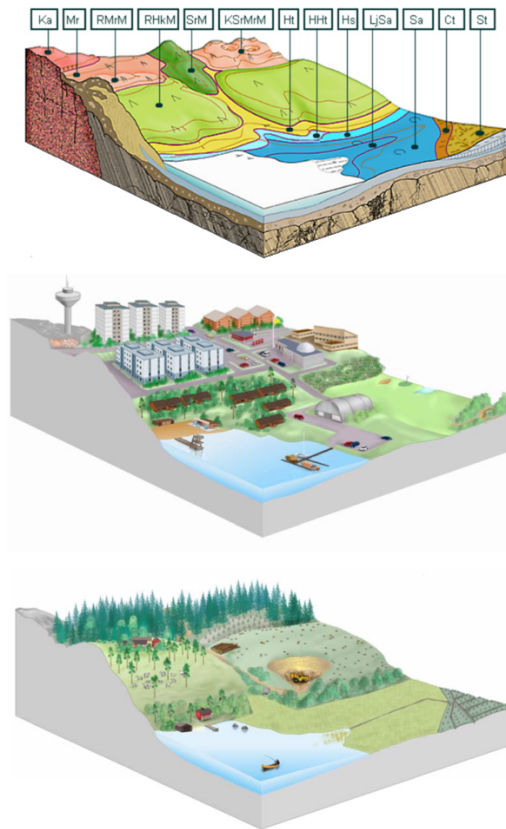
Kuvassa 1 on esitettyä maaperäkartta, joka on mittakaavaltaan 1:20 000. Kartalla näkyvät alueen pohjamaalajit ja rasterointien selitteet.



Kuva 1. Maaperäkartta (GTK 2019b).

Kuvassa 2 on esitettyä, kuinka maaperäkartan pohjalta ohjataan maankäyttöä ja rakentamista. Keskeisimmässä kuvassa on näkemys siitä, kuinka alueelle kannattaisi sijoittaa tuleva kaupunki. Alimmaisessa kuvassa alue on otettu maa- ja metsätalouden sekä maa-

ainestenoton käyttöön. Maankäytön suunnittelu on mahdollista tehdä yksinkertaisenkin karttaesityksen pohjalta.



Kuva 2. Kuvaesitys alueen maankäytön ohjaamisesta (Haavisto-Hyvärinen & Kutvonen 2007, s. 4).

Maaperämallintamisen näkökulmasta maaperäkartoja voidaan hyödyntää tarkempien pohjatutkimusten kohdentamiseen niille alueille, joilta lisätietoa on ehdottomasti saatava. Maaperäkartta-aineistoon on usein sisällytettyä geoteknisiä sekä geologisia tutkimustuloksia, kuten esimerkiksi kairaus- ja luotaustuloksia ja pohjavesitietoja (Haavisto-Hyvärinen & Kutvonen 2007, s. 6).

3.3 Pohjatutkimukset

Pohjatutkimuksen päätavoite on saada tietoa kohdealueen maaperäolosuhteista niin, että hankkeen tavoitteet huomioiden se pystytään suunnittelemaan tarkasti ja toteuttaminen on turvallista. Tämä on mahdollista vain, jos saadaan tieto maakerroksista, niiden ominaisuuksista, kallion sijainnista ja pohjavesiolosuhteista. (Jääskeläinen 2011, s. 240)

3.3.1 Kairaukset

Kairauksien avulla on mahdollista saada monipuolista tietoa maaperäolosuhteista ja selvittää esimerkiksi kallion pinnan sijainti tai maakerrosten rajat. Kuvassa 3 on esitettyä tavallisimmat kairausmenetelmät sekä ne käyttökohteet, joihin kairaustyyppi on tarkoitettu tai joissa sitä voidaan käyttää heikommalla tarkkuudella.

Kairausmenetelmän pääasiallinen käyttötarkoitus	Selvitettävä seikka								
		Kallion pinnan sijainti	Tiiviin pohjakerroksen sijainti	Tiiviydeltään erilaisten maakerrosten rajat	Maakerrosten lujuus likimäärin	Maakerrosten lujuus tarkasti	Maakerrosten tiiviys likimäärin	Maalajiryhmä	Lyöntipaaluipituuden arviointi
Kairausmenetelmät									
Painokairaus	●	○	●	●	○		●	●	○
Heijarikairaus	○	○	●	○	○		●	○	●
Puristinkairaus	○		○	●	●		●	●	○
Siipikairaus						●			
Tärykairaus	○	○	●					○	○
Porakonekairaus (paineilmakairaus)	○	●	○						○

Kuva 3. Tavallisimmat kairausmenetelmät ja niiden käyttökohteet (Jääskeläinen 2011, s. 243).

Kuvan 3 mukaan voidaan todeta, että kairausmenetelmistä paino-, heijari- ja puristinkairaus ovat käyttökelpoisimmat, sillä niiden avulla saadaan tarkasti määritettyä kaikki muut suureet paitsi kallion pinnan sijainti ja tarkat maakerrosten lujuudet. Porakone- tai paineilmakairaus ovat ainoat menetelmät, joiden avulla selvitetään tarkka tieto kallion pinnan sijainnista. Maalajikerrosten rajapintojen selvittämiseen parhaiten soveltuvat paino- ja puristinkairaus. Kallion pinnan tunnistamiseen muut kairausmenetelmät soveltuvat huonosti, koska niiden tuloksista ei voida päätellä, onko kairaus päättynyt kiveen vai kalliioon (Jääskeläinen 2011, s. 242).

Jääskeläisen (2011) mukaan taulukon kairausmenetelmien lisäksi vaihtoehtoja ovat koe-kuopat, puristin-heijarikairaus ja SPT-kairaus. Koekuoppien avulla voidaan selvittää maaperän kerrostumat ja kuoppiin on mahdollista asentaa pohjaveden havaintoputkia. Puristin-heijarikairaus on puristin- ja heijarikairauksen yhdistelmä, joten käyttöalue on laaja. Suomessa vähän käytetty menetelmä on SPT-kairaus (Standard Penetration Test). (Jääskeläinen 2011, s. 259-260, 267-271)

3.3.2 Geofysikaaliset menetelmät

Geofysikaalisten menetelmien avulla saadaan esitietoa pohjavesialueesta, maaperän paksuudesta ja kallion topografiasta. Mittaustulosten avulla on mahdollista kohdentaa muita yksityiskohtaisempia tutkimuksia oikeille alueille, jolloin säästyy aikaa ja kustannuksia. Kustannussäästöt muodostuvat optimaalisten jatkotutkimusten kautta, sillä esimerkiksi kairaukset ovat kalliimpia ja vievät enemmän aikaa geofysikaalisiin menetelmiin verrattuna. (Suomen Vesiyhdistys 2005, s. 81)

Geofysikaalisia menetelmiä on useita erilaisia ja niiden avulla voidaan selvittää esimerkiksi savikoiden paksuuksia, savenalaisten harjujen sijainteja, maalajeja sekä pohjavedenpinnan taso. Geofysikaalista tutkimusaineistoa on kattavasti saatavilla, sillä GTK on kartoittanut koko Suomen alueen matalalentomittauksin (GTK 2008). Lisäksi useat menetelmät ovat varsin nopeita, joten alueellista tietoa on saatavilla lyhyellä aikataululla.

3.3.3 Laserkeilaus

Laserkeilaimeilla saadaan pistepilvimäinen aineisto, joka kuvaa maanpintaa ja muita kohteita. Pistepilvet ovat kolmiulotteisia. Laserkeilauksen pohjalta voidaan muodostaa esimerkiksi maastomalleja eli maanpintaa kuvaavia malleja. Laserkeilauksen perusteella tehtyjä kolmiulotteisia malleja hyödynnetään esimerkiksi rakennetun ympäristön kuvauksessa ja kaavoituksessa. Aineiston pohjalta voidaan luoda myös korkeuskäyriä. (Maanmittauslaitos 2019) Laserkeilaimella saadaan siis helposti selville kohdealueen topografia.

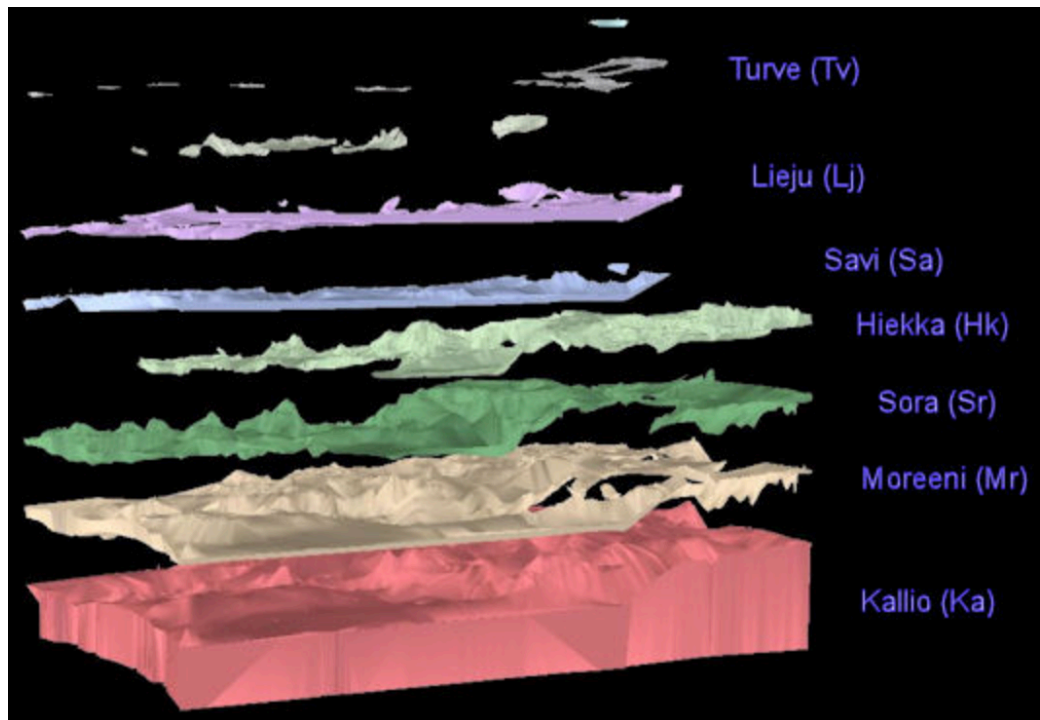
4. 3D-MAAPERÄMALLI

Suomessa maaperämallille ei ole tällä hetkellä virallista yhtenäistettyä muotoa (Ojala 2019). Luvun 4 teoria perustuu Geologian tutkimuskeskuksen ja Tampereen kaupungin 2015 aloittaman CityGeoModel –projektin raporttiin, jossa on ehdotettu ja kuvattu maa- ja kallioperämalleja sekä niiden sisältämiä komponentteja (Ikävalko et al. 2017).

Geoteknisessä suunnittelussa maaperämallintamista käytetään nykyään paljon, sillä maanpinta- ja kallionpintamalli ovat useimmissa kohteissa peruslähtötietoina. Kohdekohtaisen tarpeen mukaan mallinnetaan myös eri maalajien pintoja, joita voidaan hyödyntää esimerkiksi määrälaskennassa ja geoteknisissä tarkasteluissa. Mallia, jossa on kuvattu eri maalajien kerrokset, kutsutaan maalajimalliksi tai maaperämalliksi. (Orankas 2019a)

4.1 Maaperämallin kuvaus

Maaperämallin keskeisimmät mallinnuksen kohteet ovat maakerrostumien rajapinnat. Kerrostumat kuvataan maalajiluokituksilla, mutta maalajin lisäksi niille voidaan syöttää muita ominaisuustietoja, kuten esimerkiksi vesipitoisuus tai humuspitoisuus. Kerrostumien ominaisuustietojen avulla mallin pohjalta nähdään tarkka kuva maaperäolosuhteista. (Ikävalko et al. 2017, s. 9) Kuvassa 4 on esitettyä 3D-maaperämalli, jossa mallinnetut kerrostumat ovat erotettuina toisistaan havainnollistamisen vuoksi.



Kuva 4. 3D-maaperämalli (GTK 2019a).

Kuvan 4 maaperämallin pohjalta nähdään hyvin nopeasti, että pohjamaana on kantavaa moreenia, jonka päälle on kerrostunut soraa ja hiekkaa. Näiden kerrostumien päälle on muodostunut vielä savi-, lieju- ja turvekerrostumat.

Maaperämallin lähtötietoja hankitaan usein kairauksilla, joista saatavat tulokset ovat pisteittäisiä tai viivamaisia. Malliin sisällytetään pisteiden, viivojen, pintojen ja kappaleiden paikkatiedot, joita saadaan kairausten lisäksi myös kartoittamalla. Rajapinnat ja kappaleet muodostetaan malliin pisteiden ja viivojen tulkinnan ja yhdistämisen avulla. Pisteet ja viivat yhdistetään usein kolmioimalla. (Ikävalko et al. 2017, s. 9-10)

4.2 Mallinnettavat kohteet

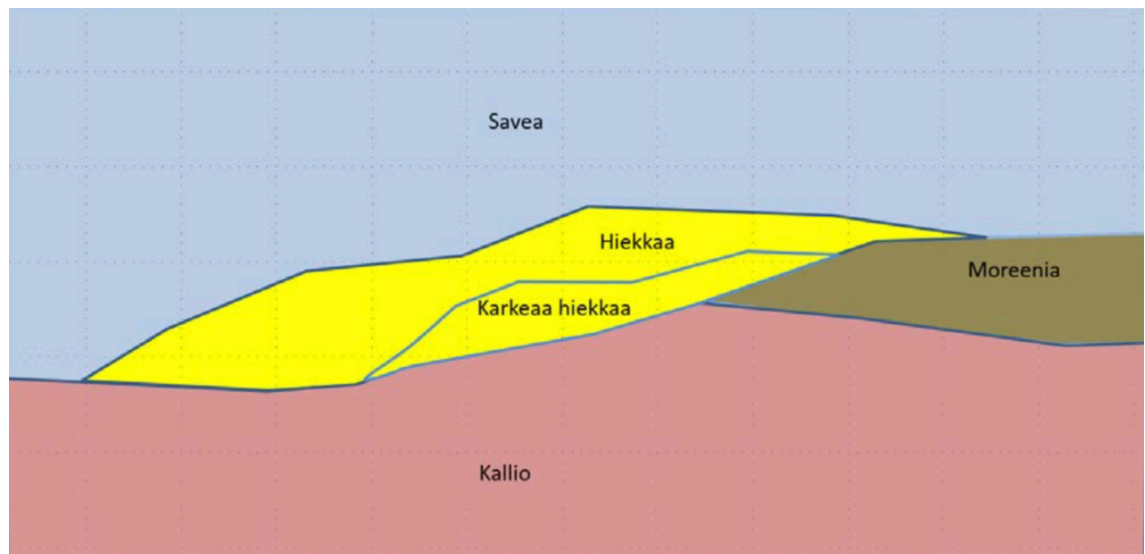
Maaperämalliin muodostetaan erilaisia kohteita lähtötietojen ja niiden ominaisuuksien pohjalta. Taulukkoon 1 on koottuna maaperämallin eri kohteet.

Taulukko 1. *Maaperämallin kohteita (Ikävalko et al. 2017, s. 11).*

Kohde	Kuvaus
Yksikkö	Tiettyyn geologiseen prosessiin liittyvä kerrostumien kokonaisuus
Kerrostuma	Tietyn päämaalajin muodostama yhtenäinen esiintymä, 3D-kappale
Kerros	Kerros esiintyy kerrostuman sisässä ja erottuu siinä jonkin tietyn ominaisuutensa suhteen, mutta geneettisesti liittyy oleellisesti kyseiseen kerrostumaan
Ominaisuustietokohde	Tietyn ominaisuuden sisältävä ”maaperämallin osa, kappale tai piste”

Taulukon 1 kohteista yksiköt, kerrostumat ja kerrokset ovat 3D-kappaleita ja näin ollen ne ovat mallin varsinaiset kohteet. Kohteet muodostuvat pisteistä, viivoista, pinnoista ja kappaleista. (Ikävalko et al. 2017, s. 11-12)

Kuvassa 5 on esitettyä poikkileikkauskuva maaperämallista.



Kuva 5. *Poikkileikkauskuva maaperämallista (Ikävalko et al. 2017, s. 10).*

Kuvassa 5 on esitetty keltaisella hiekkakerrostuma, josta on erotettu karkean hiekan kerros aivan kerrostuman pohjalta. Kerrostumat muodostuvat pääasiassa niin sanotuista päämaalajeista.

Havaintopisteiden pohjalta voidaan tulkita muita pisteitä, jotka sijaitsevat kartoitetulla alueella. Taulukkoon 2 on koottuna maaperämallin pistetyypit.

Taulukko 2. *Maaperämallin pistetyypit (Ikävalko et al. 2017, s. 12-13).*

Pisteen tyyppi	Selitys
Rajapintapiste	Sijaitsee kahden kerrostuman rajapinnalla, ominaisuustietona sekä ylä- että alapuoleisen kerrostuman ominaisuus, esim. savikerrostuman ja moreenikerrostuman rajapintapiste (Sa-Mr-rajapintapiste).
Yläpintapiste	Sijaitsee kerrostuman yläpinnalla, ominaisuustietona esim. kerrostuman maalaji (savikerrostuman yläpintapiste)
Alapintapiste	Sijaitsee kerrostuman alapinnalla, esim. savikerrostuman alapintapiste (Sa-alapintapiste)
Ominaisuuspiste	Piste kerrostuman (kohteen) sisällä, pisteeseen liittyy jokin ominaisuus, joka kuvaa kohdetta, esim. maalaji (moreenipiste)

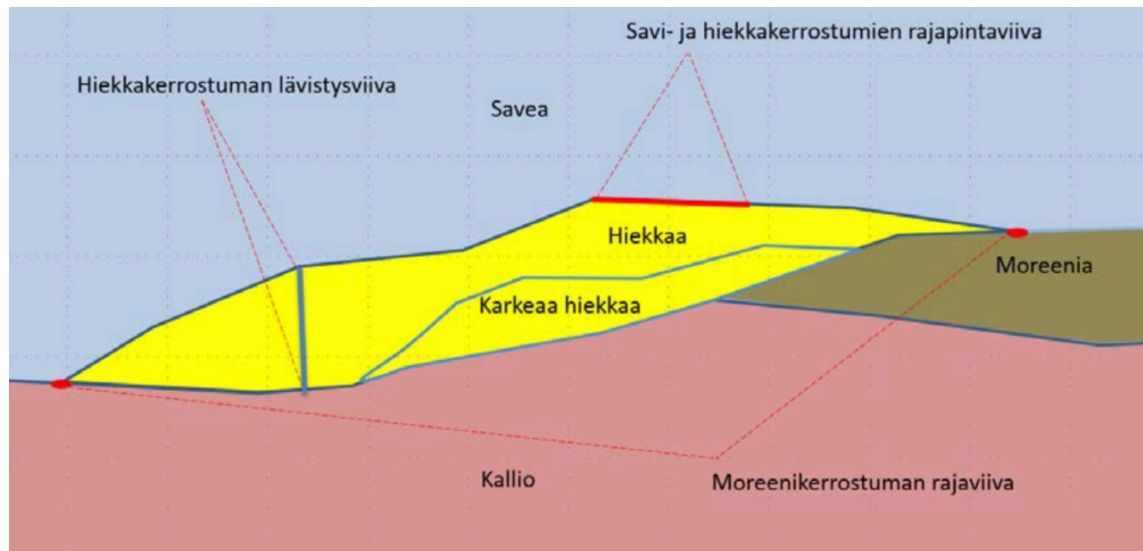
Taulukon 2 pistetyyppien maalajien nimeämiseen suositellaan käytettäväksi standardien mukaisia merkintöjä. Sen sijaan varsinaisen pisteen nimeämisessä voidaan käyttää taulukon pistetyyppejä ja maalajilyhennettä. (Ikävalko et al. 2017, s. 13)

Maaperämallin viivat eivät koskaan leikkaa pintoja, vaan ne kulkevat pintoja pitkin tai kohteen yläpinnasta alapintaan. Maaperämallin viivoihin liittyvää tietoa saadaan esimerkiksi kairaamalla kerrostumien läpi. (Ikävalko et al. 2017, s.14) Taulukkoon 3 on koottu maaperämallin erilaiset viivatyyppit selityksineen.

Taulukko 3. *Maaperämallin viivatyyppit (Ikävalko et al. 2017, s. 15).*

Maaperämallin viivan tyyppi	Selitys
Ominaisuusväli	Kyseisen viivan alueella voimassa ko. ominaisuus, esim. maalajikerrostuman lävistys kairaamalla, pystysuora viiva yläpinnasta alapintaan. Myöskin voi päättyä kohteen sisälle, esim. kairaus päättyy määräsyvyYTEEN.
Rajapintaviiva, kerrostumarajapintaviiva	Kahden kerrostuman (kerroksen) rajapinnassa kulkeva viiva, esim. leikkaustulkinnassa piirretty maalajikerrosten välinen rajaviiva
Kerrostuman rajaviiva	Kohteen uloin raja xy(z)-avaruudessa

Taulukossa 3 esitettyjä viivatyypppejä on poikkileikkauskuvassa (kuva 6).



Kuva 6. Maaperämallin poikkileikkauskuva, jossa on erilaisia viivatyyppejä (Ikävalko et al. 2017, s. 14).

Viivat nimetään taulukossa 3 esitetyn mallin mukaisesti. Kuvasta 6 nähdään, kuinka eri viivat on nimetty poikkileikkauskuvaan. Esimerkiksi savi- ja hiekkakerrostuman välinen viiva on nimetty rajapintaviivaksi.

Maaperämalliin mallinnetaan eri kerrostumat, jotka ovat siis pintojen rajaamia. Pinnaksi kutsutaan kerrostuman yläpintaa eli käytännössä pinta on ylemmän kerrostuman kerrostumisalusta. Nämä pinnat voivat olla selvästi havaittavia tai kerrostuma voi vaihtua toiseen liukuvasti, jolloin selvää rajaa ei ole. Maaperämalliin koodataan useimmiten kerrostumien yläpinnat. Selvyyden vuoksi kerrostuman alemmaa rajapintaa kutsutaan alapinnaksi. (Ikävalko et al. 2017, s. 15) Taulukkoon 4 on koottu maaperämallin pintoja selityksineen.

Taulukko 4. Maaperämallin pintoja (Ikävalko et al. 2017, s. 16).

Pinnan tyyppi	Selitys
Pinta	Maaperämallin pinta, pinnaksi tulkinnassa kutsutaan kerrostuman yläpintaa
Yläpinta	Synonyymi edelliselle
Alapinta	Kerrostuman alapinta
Rajapinta	Kahden eri maalajin välillä, sisältää tiedon sekä ylä- että alapuolisesta maalajista

Taulukosta 4 nähdään, että rajapinta käsite eroaa merkittävästi muista pinnoista, sillä rajapinnasta käy ilmi tiedot sekä ala- että yläpuolisesta maalajista. Rajapinnaksi on luonnollista kutsua pintaa, joka kuvaa kahden eri maalajin välistä rajaa.

4.3 Näkemyksiä kehityssuunnista

Saatavilla olevien ohjelmistojen tarjonta on mennyt paljon eteenpäin viimeisen 3-4 vuoden aikana osittain sen vuoksi, että digitaalisessa muodossa olevaa kairausdataa ja geologista tietoa on yhä enemmän saatavilla. Ohjelmistot vastaavat käyttäjien tarpeita koko ajan paremmin, sillä ohjelmistokehitys on jatkuvaa. (Ojala 2019)

Ojala (2019) arvioi 3D-mallintamisen luonnolliseksi kehityskaareksi sen, että mallien tekeminen yleistyy yhä enemmän ja niiden tuottaminen helpottuu jatkuvan ohjelmistokehityksen myötä. Tulevaisuudessa ei tehdäkään enää pelkkiä geologisia tai rakennusgeologisia malleja, vaan lähivuosina mallit muuttuvat integroiduiksi, joihin sisältyy kaikki data samaan malliin. Yhtenä mahdollisena kehityssuuntana Ojala pitää siis datan yhdistelemistä nykyistä poikkitieteellisemmin. (Ojala 2019)

Kehityksen kannalta tärkeäksi Ojala nostaa erilaisten filttareiden tekemistä, jotta maaperämallien yksiköt voidaan siirtää Inframodel 4 puolelle. Ongelmana tällä hetkellä on se, että mallit on rakennettu eri tavoilla eri tietokannoissa: esimerkiksi toinen tietokanta voi mallintaa kerrosyksikön yläpintaa, kun taas toinen mallintaa yksikön alapintaa. Jos yhteisiä ohjeistuksia ja sääntöjä ei saada aikaiseksi maaperämallintamiseen, ollaan 2-3 vuoden päästä tilanteessa, jossa mallit eivät ole keskenään yhteensopivia. (Ojala 2019)

Geoteknisen suunnittelun puolella 3D-mallintaminen lisääntyy koko ajan ja mallien tarkkuus paranee. Suunnittelu tuotetaan yhä enemmän mallipohjaisena suunnitteluna. Suunnittelussa 3D-tuotoksia ei vaadita yleensä asiakkaalle asti, mutta esimerkiksi kaivannot ja täytöt voidaan mallintaa määrälaskennan ja koneohjauksen tarpeisiin. (Orankangas 2019a)

Pohjavesimallinnusta tullaan jatkossa käyttämään enenevässä määrin sen mukaan, kuinka hankkeilla on varallisuutta. Lopulta tapauskohtainen päätös ratkaisee, käytetäänkö mallia vai ei. (Tuominen 2019)

5. MALLIN VAATIMUKSET

5.1 Yleiset inframallivaatimukset

InfraBIM-sanastossa on määritelty lähtötietomalli, johon maaperämalli kuuluu. Lähtötietomalli on kokoelma, jossa on yhdistettynä erilaisia aineistoja. (Liukas & Virtanen 2015, s. 4)

Yleisten inframallivaatimusten mukaan maalajien rajapinnat tulkitaan pohjatutkimustulosten ja topografian perusteella. Nämä rajapinnat muodostetaan malliin pisteistä, viivoista ja kolmioverkosta. Kolmioverkko saadaan muodostettua pisteiden ja viivojen pohjalta. Kalliopintaa tehtäessä on erotettava avokallioviivat ja -pisteet, varmistetun kalliopinnan pisteet sekä tulkinnoista saadut pisteet ja viivat. Suoraan pohjatutkimusten kohdalta tehdyt tulkinnat tulee merkitä muista poikkeavasti. (Liukas & Virtanen 2015, s. 16)

Vaatimukseen on kirjattu myös erilaisia tarkastustoimenpiteitä, jotka pitää suorittaa maaperämallille:

- visuaaliset tarkistukset
- kolmioinnin tarkistus
- leikkausten läpikäynti ja vertailu pohjatutkimukseen
- korkeus- ja syvyyskäyrien muodostus ja tarkistus
- maalajirajapintojen ja kalliopinnan rajapintojen törmäys- sekä leikkaustarkastelut. (Liukas & Virtanen 2015, s. 20)

Tie-, katu- ja ratasuunnitelmavaiheessa muodostettuun maaperämalliin sisällytetään pohjatutkimuksiin perustuen:

- kalliopinta
- maalajikerrokset pohjanvahvistuskohteissa
- pohjaveden pinta hankekohtaisesti
- olemassa olevat pohjanvahvistukset. (Janhunen et al. 2015, s. 21)

Maaperämalliin liittyvät oleelliset seikat kirjataan ylös malliselostukseen, joka laaditaan lähtötietomallista. Tärkeimmät kirjattavat asia ovat maaperämallin tarkkuus sekä tulkintaperusteet. (Janhunen et al. 2015, s. 22)

5.2 Mallin luotettavuus

Mallin luotettavuuteen vaikuttavat maaperämallin tekijän ammattitaito, kohteen tunteminen ja käytetyt menetelmät (Ojala 2019). Mainittujen seikkojen vaikutusta on kuitenkin hankalaa arvioida.

Ympäristöministeriön (2014) asetuksen 465/2014 mukaan rakennushankkeeseen ryhtyvän on selvitettävä maaperäolosuhteet pohjatutkimusmenetelmin. Todellisuudessa pohjatutkimuksia tehdään kuitenkin tärkeiksi todetuille alueen osille, mikä johtaa siihen, ettei tulosten pohjalta tehty malli ole koko alueelta yhtä luotettava. Tuominen (2019) kertoo, että tiheistä kairauksista huolimatta esimerkiksi kallionpinnan syvä painanne voi jäädä huomaamatta, mutta tutkimuspisteiden välin voidaan todeta korreloivan mallin luotettavuuden kanssa.

Ojala (2019) kertoo tutkimusten ja havaintojen iän vaikuttavan mallin luotettavuuteen. Toisilla alueilla tuloksia voi olla eri vuosikymmeniltä ja erilaisilla laitteilla saatuina. Vanhoista tutkimustuloksista on hankala sanoa, että millä perusteilla tulkinnat on tehty. Lisäksi on mahdollista, että samassa paikassa on tehty eri aikaan kairaus ja tulokset ovat tulkittu täysin eri tavalla tai kaikkea tarvittavaa ei ole välttämättä merkitty, kuten esimerkiksi kairauksen päättymisen syy. (Ojala 2019)

Kairaustulosten luotettavuuteen liittyy myös se, että toisinaan kairaaja on voinut merkitä tiedon, jota ei varmuudella voida kyseisellä kairaustavalla luotettavasti selvittää. Tällaisia voivat olla esimerkiksi paino- tai siipikairauksella todettu tiivis maakerros, joka voidaan mieltää kallioksi, vaikka porakonekairaus on kuvan 8 perusteella luotettavin kairausmenetelmä kallionpinnan sijainnin varmistamiseen. (Ojala 2019)

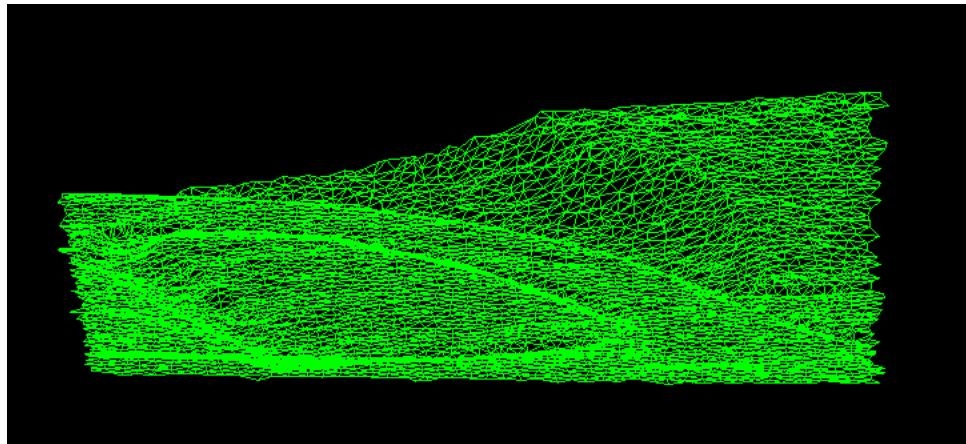
Lähtötietojen resoluutio pitää huomioida mallia tehtäessä, sillä 1:20 000 maaperäkartta ei ole kovinkaan tarkka maaperämallia ajatellen. Tarvittava resoluutio on käytännössä 1:2 000, 1:1 000 tai jopa tarkempi kohteesta riippuen. Epätarkka aineisto aiheuttaa malliin virheitä. (Ojala 2019)

6. ESIMERKKEJÄ MAAPERÄN 3D-MALLINTAMISEN KÄYTTÖKOhteista

6.1 Maanpintamalli, kallionpintamalli ja maaperämalli

Orakankaan (2019a) mukaan maaperän 3D-mallintamista käytetään nykyisin kaikissa uusissa kohteissa ja käytännössä ei ole ollut hanketta, josta maaperän mallia ei olisi ollut. Yleisimmin käytetty maaperän malli on maanpintamalli, koska mikään tarkempi suunnittelu ei pääse etenemään, jos maanpinnan sijaintia ei kohteessa tunneta. Varsinainen maalajimalli on sen sijaan jonkin verran harvinaisempi, sillä arvion mukaan yksi kolmesta projekteista on niitä, joissa maakerrosrajoja tarvitsee mallintaa. Maalajimalli on aina tulkinta eikä sitä tehdä, jos kairaustuloksista havaitaan, että koko kaivannon alueella on vain yhtä maalajia. Vastaavasti toimitaan, jos alueella on kitkamaata, esimerkiksi hiekkamoreenia ja hiekkaista soraamoreenia. Mallintamisen tarve pitää siis harkita tapauskohtaisesti. (Orakangas 2019a)

Kuvassa 7 on esitettyä esimerkki kolmioverkko 3D-näkymässä.



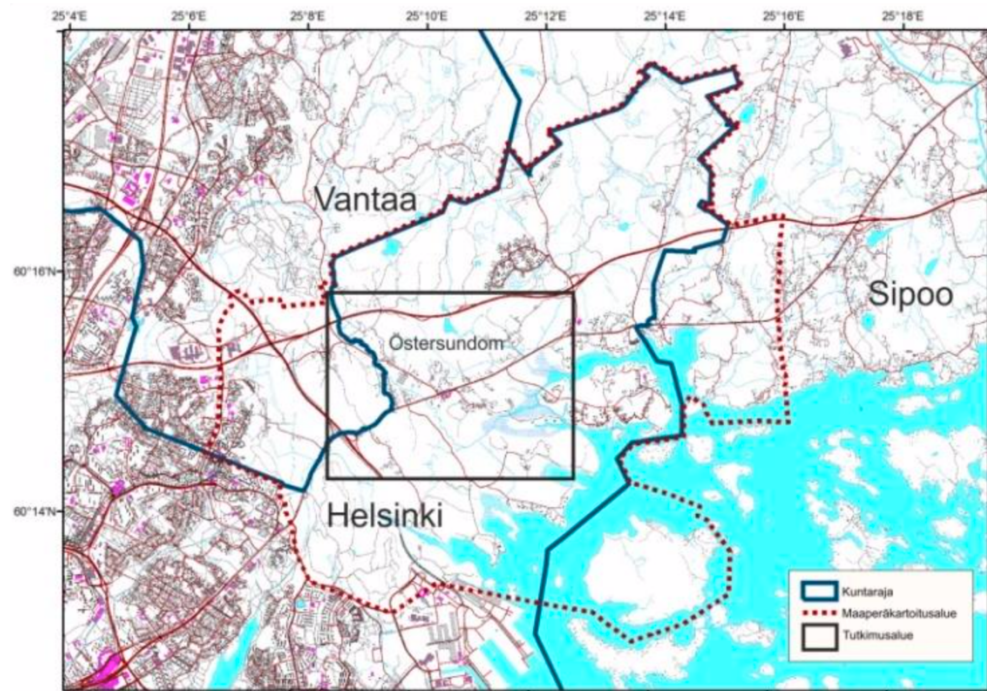
Kuva 7. Maanpinnan kolmioverkko 3D-näkymässä (Orakangas 2019b).

Maanpinnan kolmioverkko on interpolointi kohteen maanpinnan muodoista ja korkeuksista. Tämä tieto toimii käytännössä peruslähötietona geoteknisessä suunnittelussa. (Orakangas 2019a)

Kuvassa 8 on esitettyä stabiliteettilaskennan esimerkki, jossa on poikkileikkauskuva maalajimallista. Stabiliteetin laskennan kannalta on tärkeää tietää todennäköiset maaperäolosuhteet.

6.2.1 Helsingin Östersundomin tutkimusalue

Geologian tutkimuskeskus on tehnyt Helsingin Östersundomin alueella selvityksen, jonka tilaajana oli Helsingin kaupungin kiinteistöviraston geotekninen osasto. Östersundomin hanke on osa pääkaupunkiseudun pehmeikköalueiden selvitystyötä ja tavoitteena on ollut savikkomalli, joka selittää saven geologisia ja geoteknisiä ominaisuuksia. Hanke on palvellut yhdyskuntarakentamista. (Kosonen et al. 2015, s. 4)

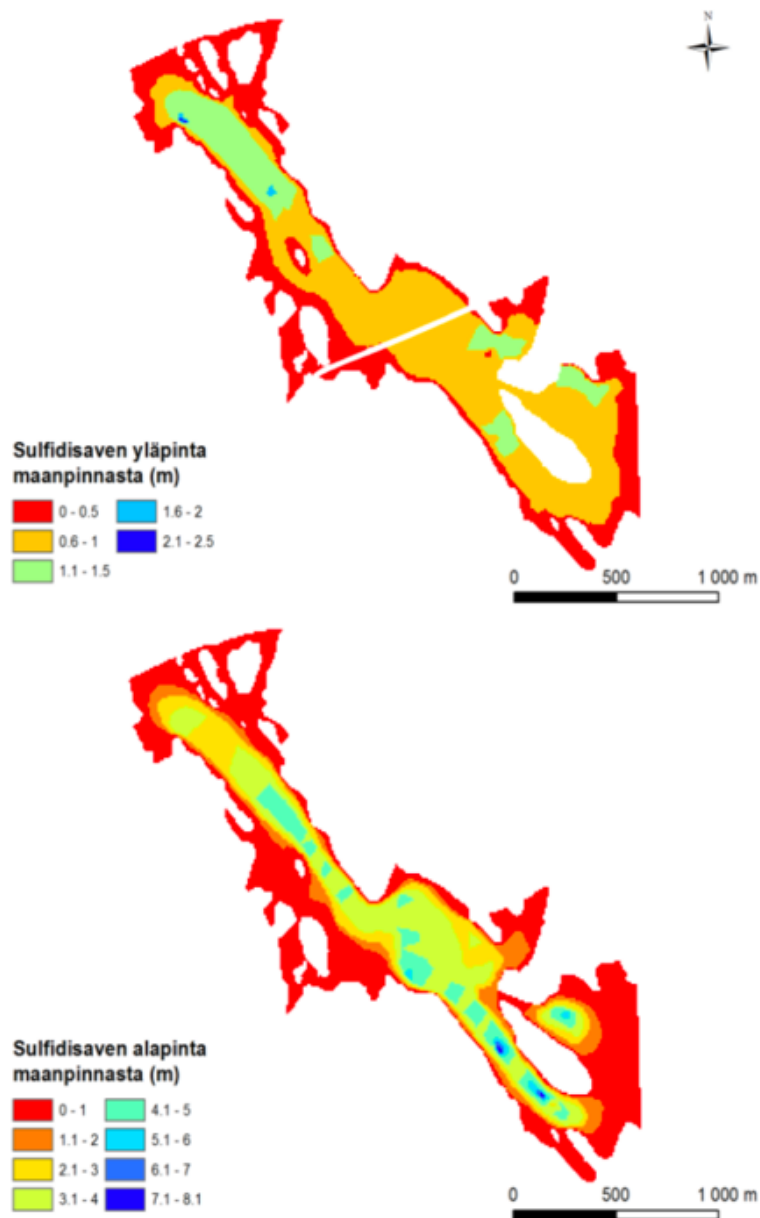


Kuva 9. Östersundomin tutkimusalue (Kosonen et al. 2015, s. 4).

Kuvassa 9 on mustalla rajattuna Östersundomin tutkimusalue, jossa on tutkittu hienoraakeisia maalajeja. Punaisella katkoviivalla rajattu alue on maaperäkartoitettu GTK:n toimesta.

6.2.2 Östersundomin alueelta tehtyjä mallinnuksia

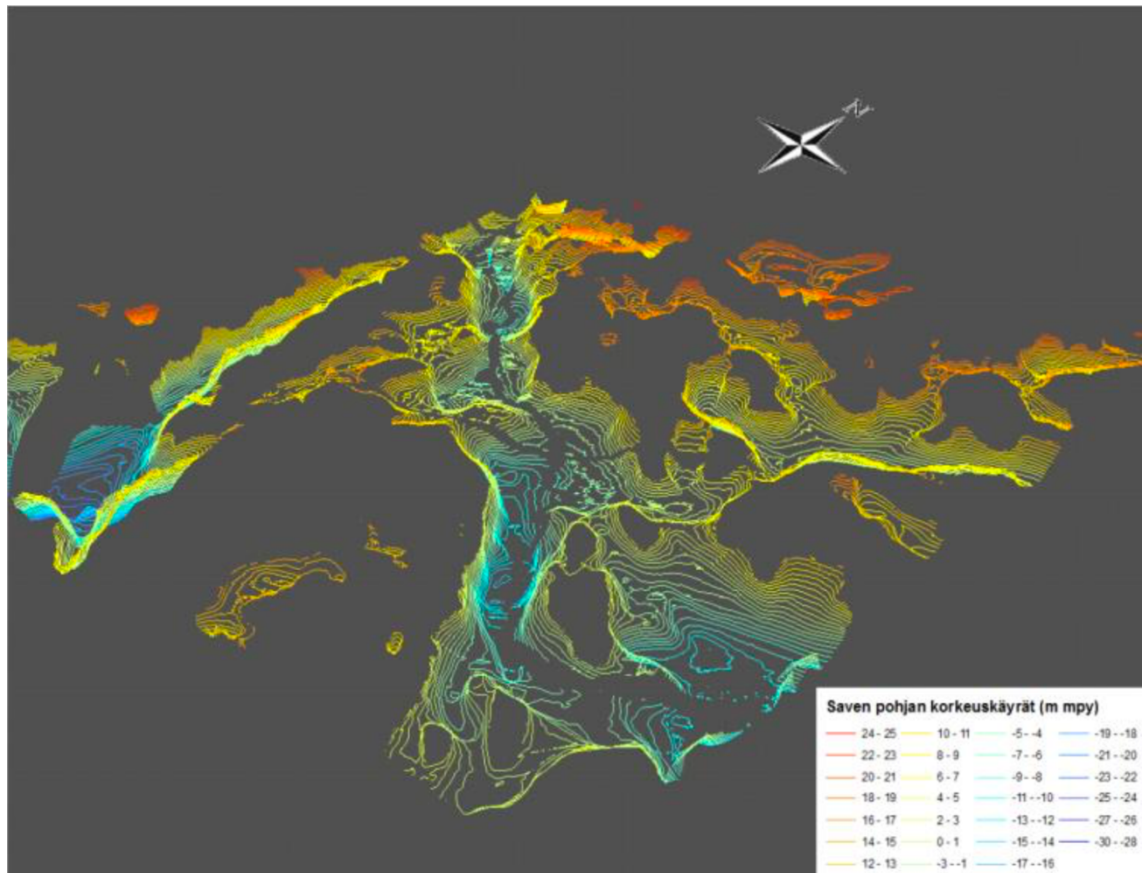
Kuvassa 10 on esitettyä Östersundomin jokialtaan sulfidisaven ylä- ja alapinta maanpinnasta laskettuna. Sulfidisaven ylempi rajapinta on määritetty samaan tasoon pohjavedenpinnan kanssa. On todettu, että pääkaupunkiseudun savialtaiden reunamilta puuttuvat yleensä sulfidisavet, kun saven kerrospaksuus on 1-3 m. Alueen reunoilta löytyy lustosavikerroksia, jotka ovat karkearakeisempia kuin sulfidisavet ja ne ovat syntyneet jäätikön perääntymisvaiheessa. (Kosonen et al. 2015, s. 14)



Kuva 10. Jokialtaan sulfidisaven ylä- ja alapinta tulkittuna syvänäyte ja kannukauruspisteiden perusteella (Kosonen et al. 2015, s. 14).

Kuvan 10 perusteella voidaan tulkita sulfidisaven kerrospaksuuksia sekä sitä, kuinka syvällä savea esiintyy. Esimerkiksi jokialtaan eteläosassa sulfidisavea on jopa 7-8 m:n syvyydessä ja savea on 6-7 metrin paksuinen kerros, mutta pohjoisosissa savi ulottuu vain noin 2-3 m:n syvyyteen ja on paksuudeltaan vain murto-osan eteläosiin verrattuna. Voidaan siis todeta, että sulfidisaven kerrospaksuudet vaihtelevat alueella huomattavasti. Alueen happamien sulfaattimaiden arviointi vaatii kuitenkin lisätutkimuksia, sillä kuvan mallin ja sen lähtöaineiston pohjalta ei voida sanoa mitään esimerkiksi saven pH-arvoista, jotka pitää kuitenkin ottaa huomioon rakentamisessa ja materiaalivalinnoissa.

Kuvassa 11 on esitetty saven alapinta korkeuskäyrien avulla. Yksikkönä on metriä merenpinnan yläpuolella (m mpy).



Kuva 11. Saven alapinta esitettynä korkeuskäyrin (Kosonen et al. 2015, s. 15).

Savikoilla saven alapinnan tunteminen auttaa tulkitsemaan kallioperän sijaintia. Kuvan 5 pohjalta voidaan todeta, että esimerkiksi keskivaiheilla ja vasemmassa laidassa saven alapinta on selvästi muuta aluetta syvemmällä. Näillä alueilla myös kallionpinnassa on oltava syvänteitä, jotka vastaavat saven alapinnan muotoja.

6.3 Pohjavesitutkimus

6.3.1 Pohjavesiolosuhteet

Suomen maaperässä pohjavesi on yleisimmin 1-4 metrin syvyydessä, mutta esimerkiksi harjuissa tai kallioperässä pohjavesi voi olla jopa 20 metrin syvyydessä. Suomessa pohjavedenpinnan korkeus vaihtelee syklisesti ja ylimmillään pinta on kevään sulamisvesien vaikutuksen jälkeen. Pohjavettä on kolmea eri tyyppiä: vapaa pohjavesi, orsivesi ja salpavesi. Orsivettä esiintyy tiiviin maakerroksen päällä ja se saattaa kuivua ajoittain, mikä erottaa sen vapaasta pohjavedestä. Salpavesi on pohjavettä, jonka pinta rajoittuu tiiviiseen kerrokseen, joka estää veden nousemisen paineen edellyttämälle tasolle. Jos tämä

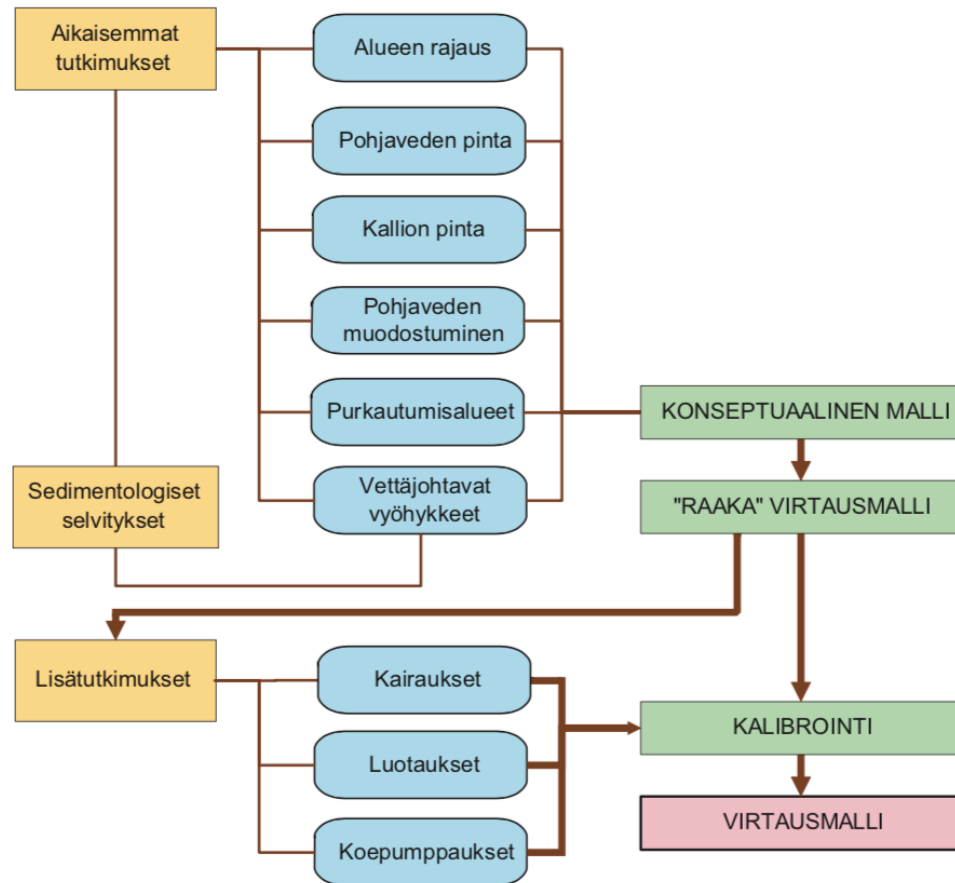
tiivis kerros rikotaan, nousee salpavesi painetasoon, joka riippuu pohjavesialueen olosuhteista. (Haavisto-Hyvärinen & Kutvonen 2007, s. 50-51)

Sadannasta maaperän pohjavedeksi kertyvän osuuden määrä vaihtelee paljon, sillä toisinaan yli 50% sadannasta kertyy pohjavedeksi, mutta toisinaan kertyvä osuus voi olla 0%. Imeytyvän veden määrään vaikuttavat alueen kasvillisuus, maalajit, niiden rakeisuus, pinnanmuodot, kerrosrakenne ja maaperän tiiveys. (Haavisto-Hyvärinen & Kutvonen 2007, s. 51) Suomessa pohjavesiolosuhteisiin vaikuttavia tekijöitä on siis huomattava määrä, joten pohjavesiesiintymän ymmärtäminen helpottuu, jos siitä laaditaan malli.

6.3.2 Pohjaveden virtausmalli

Virtausmalli nimensä mukaan sisältää kuvauksen nesteen virtaamisesta väliaineessa, kuten maa- tai kallioperässä. Pohjaveden virtausmallin pohjalta on mahdollista laskea veden virtauksia, kulkeutumisaikoja ja hydraulisten paineiden muutoksia. Kun pohjavettä on maaperässä, käytetään konseptuaalista mallia, johon kootaan huokoiset väliaineet ja niiden kerrokset. Pohjavettä esiintyy myös kallioperässä, jolloin käytettävissä on kolme eri konseptuaalisen mallin tyyppiä: rakomalli, kaksoishuokoisuuden malli ja kalliota vastaavan huokoisen väliaineen malli. Tässä työssä keskitytään pohjavesimalleihin, jotka kuvaavat veden liikkeitä maaperässä. (Seppälä & Tuominen 2005, s. 8)

Pohjaveden virtausmallintaminen sisältää useampia vaiheita, joiden jälkeen saadaan valmis malli. Mallintamisprosessin alussa perehdytään jo olemassa olevaan tutkimusaineistoon ja sen jälkeen hankitaan uutta tietoa tarpeen vaatiessa.



Kuva 12. Pohjaveden virtausmallintamisen vaiheet (Seppälä & Tuominen 2005, s. 13).

Kuvassa 12 on koottuna kaavioon mallin laatimisen eri vaiheet lähtötietojen hankkimisesta valmiiseen kalibroituun virtausmalliin saakka. Tutkimustulosten pohjalta tehdään mallinnettavan alueen rajaus, johon vaikuttavat valmiille mallille asetetut tavoitteet. Kun aluerajaus on tehty, voidaan tutkimustuloksista lukea pohjaveden pinnan tasot, kallion pinnan muodot sekä maaperän vettä johtavat vyöhykkeet. Mahdolliset pohjaveden purkautumisalueet, kuten esimerkiksi joet ja järvet, selvitetään yleensä viimeistään raakaa virtausmallin valmistumisen jälkeen ennen mallin kalibroitua (Seppälä & Tuominen 2005, s. 19).

Virtausmallin raakaversiosta pohjalta voidaan kohdentaa lisätutkimuksia, kuten kairauksia, luotauksia sekä koepumppauksia. Kairausten avulla saadaan tarkennettua erityisesti pohjaveden muodostumisalueen rajoja, mutta lisäksi kairauksilla voidaan tarkistaa muilla menetelmillä saatuja tutkimustuloksia. Koepumppauksien tavoitteena on pääsääntöisesti selvittää maaperän vedenjohtokyky sekä -johtavuus. (Seppälä & Tuominen 2005, s. 17)

Lisätutkimusten valmistuttua raaka virtausmalli kalibroidaan uusien tutkimustulosten mukaisesti, minkä jälkeen saadaan valmis pohjaveden virtausmalli. Seppälän ja Tuomisen

(2005, s. 29) mukaan mallin kalibroinnissa tulisi tehdä ainakin seuraavat vertailut raakamallin ja maastohavaintojen välillä:

- vesitase
- pohjaveden pinnan korkeus
- pohjaveden virtaussuunta
- pohjaveden pinnan gradientti.

7. YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Kandidaatintyön tarkoituksena oli selvittää maaperämallintamisen nykytilaa Suomessa, ja työ toteutettiin pääosin kirjallisuustutkimuksena ja puolistrukturoitujen asiantuntija-haastatteluiden pohjalta. Haastattelukysymykset lähetettiin sähköpostitse etukäteen ja varsinainen haastattelu tehtiin puhelimitse.

Suomen maaperä- ja pohjavesiolosuhteiden monipuolisuuden vuoksi 3D-mallintaminen on oikein käytettynä hyvä työkalu kohteen visualisointiin ja yksinkertaistamiseen. Hyvin laaditun 3D-mallin pohjalta on mahdollista saada yleiskuva kohteen vallitsevista olosuhteista varsin nopeasti.

Maaperämallin lähtötiedot hankitaan maaperäkarttojen ja pohjatutkimusten avulla. Kun lähtötietoja on riittävästi, voidaan niiden pohjalta aloittaa maaperäolosuhteiden mallintaminen. Myös laserkeilauksen avulla saadaan tuotettua aineistoa, jota voidaan hyödyntää 3D-mallia laadittaessa, sillä laserkeilausaineistosta saadaan luotua helposti korkeusmalleja. Maaperämalli koostuu erilaisista pisteistä, viivoista ja pinnoista. Pinnat saadaan interpoloitua tunnettujen ja tulkittujen pisteiden sekä viivojen avulla. Maaperän eri kerrostumat kuvataan kahden pinnan välisenä alueena. Kerrostumat kuvataan yleensä maalaajiluokituksin, mutta sen lisäksi kerrostumille voidaan antaa esimerkiksi vesipitoisuuden arvot. Käytännössä nämä syötettävät tiedot valitaan tarpeen mukaan.

Mallin lähtötietojen tärkein vaatimus on niiden tarkkuus. Tarkkuusvaatimukset ovat hankkeikohtaisia. Kairauspisteiden määrä on oleellisessa roolissa, kun mietitään lähtötietojen riittävyyttä, sillä kairaustulosten pohjalta on mahdollista kalibroida esimerkiksi geofysikaalisin menetelmin hankittua tutkimustietoa.

Yleisissä inframallivaatimuksissa on esitetty maaperämalliin liittyviä vaatimuksia sekä sille suositeltavia tarkastustoimenpiteitä. Inframallivaatimuksissa esitetään malliselostuksen merkittävyys. Malliselostukseen kirjataan maaperämallin tarkkuus sekä tulkintaperusteet, jotka ovat relevantteja tietoja mallia hyödyntäville tahoille. 3D-mallin hyödyntäminen edellyttää, että käyttäjä ymmärtää sen tarkkuuden ja taustalla tehdyt oletukset sekä tulkinnat.

Maaperämallin luotettavuuteen vaikuttavat useat parametrit, kuten mallintaja, käytetyt menetelmät, lähtötietojen ikä, tutkimustulosten oikea käyttäminen sekä lähtötietojen tarkkuus. Mallille on erittäin hankalaa määrittää absoluuttinen luotettavuuden arvo, sillä käytännössä kaikkia luotettavuuteen vaikuttavia muuttujia ei voida mitata.

Rakentamista ja maankäytön suunnittelua maaperän 3D-mallintaminen palvelee varsin monipuolisesti, sillä 3D-mallien pohjalta voidaan ohjata maankäyttöä jo ennen rakentamispäätöstä, jolloin saadaan minimoitua esimerkiksi perustamisesta aiheutuvia kustannuksia. Toisaalta 3D-malleja voidaan hyödyntää myös rakennushankkeen aikana esimerkiksi pohjarakenteiden suunnittelussa, jolloin voidaan optimoida pohjarakenteet kohteen maaperäolosuhteiden mukaisesti, koska saatavilla on kokonaisvaltainen kuva rakennuspaikan vallitsevista olosuhteista. 3D-malleihin voidaan sisällyttää myös muutakin kuin luonnolliset kerrostumat, kuten esimerkiksi kohdealueelle tehdyt täyttömaakerrokset.

Maaperän 3D-mallintaminen lisääntyy koko ajan, sillä ohjelmistojen tarjonta on kasvanut paljon ja nykyään on saatavilla jopa ilmaisia ohjelmistoja. Mallintamisen yleistymisen syyksi nousi myös se, että nykyään digitaalisten maaperätutkimustulosten ja geologisen tiedon määrät ovat kasvaneet vuosi vuodelta. Erityisesti geoteknisessä suunnittelussa mallipohjainen suunnittelu on yhä tavallisempaa. Asiantuntijahaastattelujen pohjalta voidaan todeta, että 3D-mallintaminen on yleistynyt kaikilla esitetyillä osa-alueilla. Nopeasta kehityksestä ja mallintamisen yleistymisestä huolimatta yhteiset ohjeet ja pelisäännöt puuttuvat.

LÄHTEET

Autodesk, Civil 3D, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 22.05.2019): <https://www.autodesk.fi/products/civil-3d/overview>.

GTK. (2008). Ainutlaatuinen geofysikaalinen lentoaineisto kattaa koko Suomen. Saatavissa (4.3.2019): <http://www.gtk.fi/ajankohtaista/media/uutisarkisto/index.html?year=2008&number=367&newsType=PressReleases>.

GTK. (2019a). GTK:n yhdyskuntarakentamisen tiedonkeruu. Saatavissa (viitattu 22.05.2019): http://projects.gtk.fi/maapera/tuotteet/3d_maaperamallit/.

GTK. (2019b). Maankamara. Saatavissa (viitattu 27.7.2019): <http://gtkdata.gtk.fi/maankamara/>.

Haavisto-Hyvärinen, M. & Kutvonen, H. (2007). Maaperäkartan käyttöopas, GTK, Espoo.

Ikävalko, O., Kallio, H., Wennerström, M., Saresma, M., Lehtikangas, J., Coloma, R. & Toropainen, M. (2017). Rakentamisen maa- ja kallioperämallien käsitteitä, ominaisuustietoja ja niiden arvoja. City Geo Model, Tampere.

Janhunen, N., Pienimäki, M. & Parantala, S. (2015). Yleiset inframallivaatimukset YIV2015. Osa 4. Inframalli ja mallinnus hankkeen eri suunnitteluvaiheissa. BuildingSMART Finland (bSF).

Johansson, P. & Kujansuu, R. (toim.), Eriksson, B., Grönlund, T., Johansson, P., Kejonen, A., Kujansuu, R., Maunu, M., Mäkinen, K., Saarnisto, M., Virtanen, K. & Väisänen, U. (2005). Pohjois-Suomen maaperä: maaperäkarttojen 1:400 000 selitys, GTK, Espoo.

Jääskeläinen, R. (2011). Geotekniikan perusteet. Tammertekniikka, Tampere.

Kosonen, E., Saresma, M., Ojala, A., Åberg, A., Åberg, S. & Ikävalko, O. (2015) Hienorakeisten maalajien kerrosjärjestys ja ominaisuudet Helsingin Östersundomissa, GTK, Espoo.

Kvartsberg, S. (2013). Review of the Use of Engineering Geological Information and Design Methods in Underground Rock Construction. Chalmers University of Technology, Sweden.

Liikennevirasto (2015). Geotekniset tutkimukset ja mittaukset. Helsinki.

Liukas, J. & Virtanen, J. (2015). Yleiset inframallivaatimukset YIV 2015. Osa 3. Lähtötiedot. BuildingSMART Finland (bSF).

Maanmittauslaitos. (2019). Laserkeilausaineisto. Saatavissa (viitattu: 27.7.2019): <https://www.maanmittauslaitos.fi/kartat-ja-paikkatieto/asiantuntevalle-kayttajalle/tuotekuvaukset/laserkeilausaineisto>.

Ojala, A. (2019). Maaperägeologi. Geologian tutkimuskeskus. Puhelinhaastattelu 20.03.2019. Haastattelija Sammaljoki, T.

Orakangas, O. (2019a). Geotekninen suunnittelija. Pöyry. Puhelinhaastattelu 10.05.2019. Haastattelija Sammaljoki, T.

Orakangas, O. (2019b). Geotekninen suunnittelija. Pöyry. Sähköpostikeskustelu. 15.5.2019.

Seppälä, M. & Tuominen, S. (2005). Pohjaveden virtauksen mallintaminen. Suomen ympäristökeskus, Helsinki.

Suomen Vesiyhdistys. (2005). Pohjavesitutkimusopas.

Tekla, Tekla Civil, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 22.05.2019): <https://www.tekla.com/fi/tuotteet/tekla-civil>.

Tuominen, S. (2019). Pohjavesitutkija. Suomen Ympäristökeskus. Puhelinhaastattelu 25.04.2019. Haastattelija Sammaljoki, T.

Ympäristöministeriö (2014). Asetus 465/2014. Ympäristöministeriön asetus pohjarakenteista. Saatavissa (viitattu 22.05.2019): <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2014/20140465>.

LIITE A: HAASTATTELUKYSYMYKSET

1. Mikä on työnkuvasi ja suhteesi maaperämallintamiseen työssäsi?
2. Minkälaisissa kohteissa/ hankkeissa olette maaperän 3D-mallintamista käyttäneet?
3. Minkälaisia vaatimuksia on maaperämallin lähtötiedoille?
4. Mitä hyötyjä näette 3D-mallintamisen tuovan? Entä mahdolliset haitat?
5. Mitä ohjelmistoja käytätte?
6. Kuinka hyvin tämänhetkiset ohjelmistot vastaavat käytännön elämän tarpeita?
7. Mikä on näkemyksenne 3D-mallintamisen tulevaisuudesta Suomessa?
8. Onko teillä oppaita tai muuta aineistoa maaperämallintamisesta, joita suosittelisitte?